

GEOELEKTRICKÉ METODY V MONITORINGU PODDOLOVANÝCH ÚZEMÍ

GEOELECTRIC METHODS IN MONITORING OF UNDERMINED AREAS

Pavel Bláha¹, Roman Duras²

Abstrakt

Naše znalosti o časových změnách fyzikálních vlastností a o změnách fyzikálních polí uvnitř horninového masívu jsou dosud nedostatečné a mnohé z nich přímo neměřitelné. Na lokalitě Dětmárovice jsme časové změny uvnitř masívu sledovali mimo jiné i geofyzikálními metodami. Tato lokalita je postižena změnami vyvolanými nejen svahovými deformacemi, ale i změnami v poklesové kotlině vznikající jako důsledek hlubinné těžby. Výsledky povrchových měření byly porovnávány s výsledky opakovaných karotážních a geotechnických měření. Výhodou geofyzikálních měření realizovaných na povrchu je popis většího objemu masívu, než je tomu u geotechnických a karotážních metod. Na druhou stranu je citlivost povrchových metod vůči změnám fyzikálních vlastností a polí v malém objemu menší, než u měření ve vrtech. V článku chceme ukázat aplikaci opakovaného použití odporového profilování.

Abstract

Our knowledge of temporary changes of physical properties and gradients of physical fields in a rock massif is so far insufficient and many quantities are in fact immeasurable. At the Dětmárovice locality we monitored temporary changes in rock massif using geophysical methods among the others. This locality suffers from changes caused by not only the slope deformations, but also by changes in a subsidence trough, resulting from deep mining operations. The results of surface measurements were compared with the results of the repeated logging and geotechnical measurements. The advantage of geophysical measurements realized at a surface is a description of bigger volume of massif than when using geotechnical and logging methods. On the other side, the sensitivity of a surface method to changes of physical properties and fields in a small volume is smaller than for a measurement in boreholes. In this article, we want to present the application of repeated resistance profiling.

Klíčová slova

Geofyzikální měření, monitoring, svahová deformace, sesuv, poddolování, měrný odpor

Keywords

Geophysical measurement, monitoring, slope failure, landslide, undermining area, resistivity

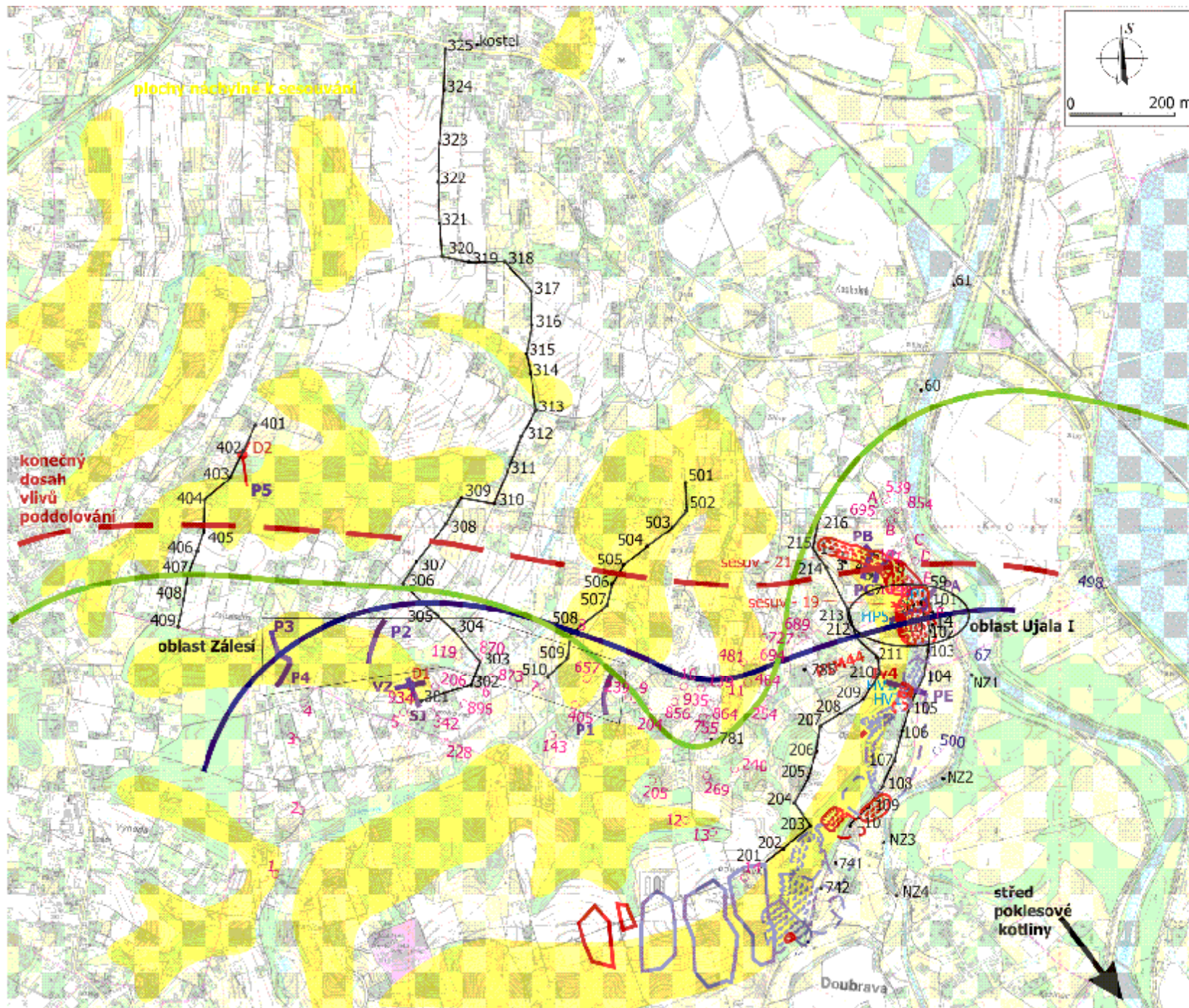
1 Úvod



Moravskoslezský kraj, zejména ostravský a karvinský region, patří mezi oblasti silně negativně postižené lidskou činností. Změny vyvolané důlní činností ovlivňovaly, ovlivňují a ještě dlouho budou ovlivňovat tvář zdejší krajiny. V souvislosti se sledováním sesuvů, vzniklých v regionu při katastrofálních srážkách v roce 1997, se ukázalo, že na vznik sesuvů, případně na obnovení jejich pohybu má vliv i důlní činnost. Je však velmi těžké tento vliv přesně stanovit. Největší problémy vznikají v místech, kde se poklesová kotlina přibližuje svahům náchylným k sesouvání. Pro sledování vzájemného ovlivňování obou fenoménů byla zvolena oblast Doubravy a Dětmovic. Na obrázku 1 jsou znázorněna místa náchylná k sesouvání i vlastní svahové deformace.

Při stabilitních výpočtech i při dalších geotechnických úvahách vstupují do hry jako počáteční podmínky i změny v napěťovém poli a změny ve fyzikálních a mechanických vlastnostech hornin a horninového masívu. Ukazuje se, že laboratorní testy jsou nedostatečné a nejsou schopny zodpovědět otázky o chování horninového masívu v přírodních podmínkách. Jediným možným řešením je studovat tyto změny přímo v terénu. Práce realizované v letech 2003 až 2014 ukázaly, že proces změn v horninovém masívu je dlouhodobý, a že přináší nejen porušování horninového masívu, ale po určité době i jeho částečnou konsolidaci.

Sledování změn v horninovém masívu a jejich vliv na svahové deformace probíhalo na čtyřech lokalitách (obr. 1). Místa byla vybrána tak, aby bylo možné sledovat důlní vlivy v různých stádiích vývoje. Změny fyzikálních vlastností a změny v rozložení napětí jsou sledovány přímým měřením na povrchových profilech, měřením ve vrtech a měřením v systému vrt – povrch. Při povrchových měřeních byly geofyzikální metody používány ke dvěma účelům. V prvním případě šlo o detailní poznání geologické stavby v okolí monitorovacích vrtů D1, D2, Iv4 a PIM44. Zkoumané profily byly proměřeny vertikálním elektrickým sondováním (VES), symetrickým odporovým profilováním (SOP) a mělkou refrakční seismikou (MRS). U vrtů Iv4, PIM44 a D2 byly proměřeny profily jdoucí po spádnicí a procházející vrtem nebo vrty. U vrtu D1 byly proměřeny dva navzájem kolmé profily. Druhým úkolem odporových měření bylo sledování změn v horninovém masívu. Pro srovnání jsme mimo geofyzikálních metod používali klasické geotechnické metody, tj. pásmovou extenzometrii, přesnou inklinometrii a trigonometrickou nivelaci.

Vlivy poddolování je možné hodnotit jako pomalé děje, které neohrožují existenci člověka a jeho majetek náhlým nebezpečným procesem. Na druhé straně se podle dosavadního stavu poznání jeví jako možné, že změny na okrajích poklesové kotliny probíhají jinak, než se předpokládá podle výpočtů na základě obecně užívaných matematických modelů. Určitý destrukční vliv má i indukovaná seismicita, na jejíž účinky obyvatelé regionu neustále upozorňují. Složitější je hodnotit riziko nepříznivých jevů vyvolaných pohybem svahových deformací. Vznik a rychlý pohyb sesuvů v roce 1997 ukázal, že toto riziko nelze v zájmovém území podceňovat. Oba sledované fenomény, tj. poddolování a svahové pohyby, mění režim podzemní vody a degradují půdní pokryv. V případě plného rozvinutí poklesové kotliny nastávají výrazné změny v režimu povrchových i podzemních vod. Vznikají nové vodní plochy, některé vodoteče mohou dokonce obrátit spád původního koryta. Těmto negativním vlivům nejde zabránit, ale je potřebné sledovat jejich vývoj a zamezit, nebo alespoň omezit, jejich nepříznivý vliv na svahové deformace. Detailní popis míst měření najde čtenář v článku autorů na loňské ostravské konferenci, viz (Bláha, Duras, 2013).



-  fosilní sesuv
-  aktivní sesuv
- 225 bod nivelačního měření Geotest
- 354 bod nivelačního měření prof. Černý
- 500 bod nivelačního měření VŠB
- PA profil pásmové extenzometrie a geofyziky
- lv4 inklinometrický vrt
- HP1 hydrogeologický vrt
- pravčepodobný dosah poklesů z předpokladu dobývání v letech 2015 - 2035
- dosah poklesů z dobývání v letech 2000 - 2012

Obr. 1 Situace měření

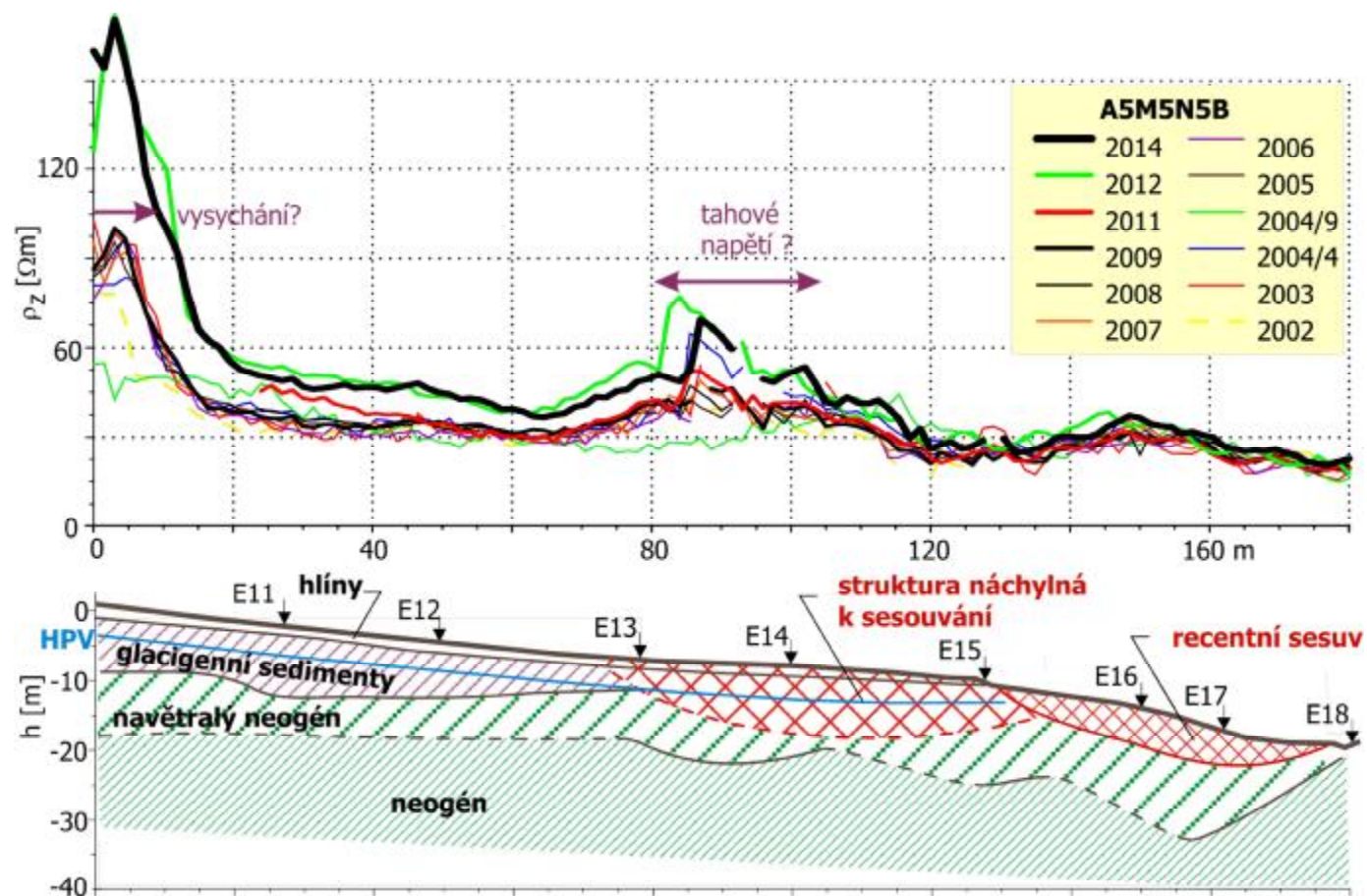
2 Odporová měření

2.1 Geoelektrická „průzkumná“ měření

Pro sledování vlivu poddolování na svahové deformace byly v okolí Zálesí proměřeny a sledovány čtyři profily. Tři byly voleny tak, aby se poklesová kotlina přibližovala k profilům od paty svahu. Profil P4 je volen opačně a poklesová kotlina se k němu přibližovala od temenní části. Při geofyzikálním měření byly svahy zkoumány kombinací geoelektrických a seizmických metod. Vertikální elektrické sondování bylo měřeno s krokem 10 – 24 metrů, přičemž převážně byla vzdálenost bodů VES 15 metrů. VES byly měřeny do maximální vzdálenosti AB 100 metrů. Symetrické odporové profilování bylo měřeno s rozestupy A5M5N5B a A20M5N20B s krokem 1,5 metru. Mělká refrakční seismika byla použita se základním roztažením délky 30 metrů a vzdáleností geofonů tři metry. Na jedno seizmické položení bylo použito 7 bodů „výbuchu“.

Na obrázku 2 jsou v horní části výsledky profilovacích metod na profilu P1, a to symetrického odporového profilování s rozestupy A5M5N5B a A20M5N20B. Ve spodní části jsou výsledky interpretace geofyzikálního měření, ve kterém jsou přesně uvedeny výsledky kvantitativní interpretace jednotlivých metod včetně geologické interpretace geofyzikálního měření. Na lokalitě platí, že se geofyzikálním měřením podařilo vyčlenit následující geologické prvky:

- povrchové hlíny;
- glacigenní sedimenty;
- silně navětralý neogén;
- navětralý neogén;
- neogén;
- písčitéjší poloha v neogénu;
- poruchu v neogénu;
- struktury náchylné k sesouvání;
- fosilní sesuvy;
- hladinu podzemní vody.



Obr. 2 Výsledky opakovaného geoelektrického měření

Průběhy jednotlivých vrstev i úrovní HPV jsou patrné z obrázku 2, a proto zde nebudou podrobně popisovány. Na tomto profilu bylo na základě geofyzikálních vlastností možné vyčlenit jeden fosilní sesuv a jednu strukturu náchylnou k sesouvání. Určité náznaky fosilního sesuvu je možné nalézt i na morfologii terénu. Na základě vizuální obhlídky terénu a na základě výsledků geofyzikálního měření není možné rozhodnout, zda jde o stabilizovaný fosilní sesuv nebo zda ve fosilním sesuvu probíhají plouživé pohyby. Struktura, označená jako náchylná k sesouvání, může být velmi stará svahová deformace (z některé poledové doby) nebo jde pouze o náhodnou shodu v geometrickém tvaru geologického rozhraní. V každém případě je potřebné počítat s tím, že v případě silného vlivu poddolování by podle její báze mohlo dojít ke svahovému pohybu.

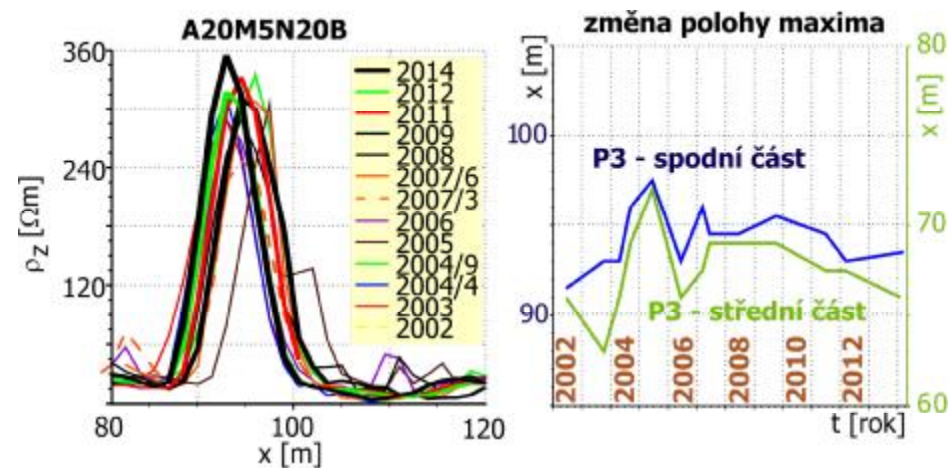
V neogenních sedimentech se podařilo určit jediné rozhraní. Předpokládáme, že jde o rozhraní mezi navětralými jíly a neporušenými jílovcí. Je pravděpodobné, že tato hranice vznikla po odtání kontinentálního ledovce. Po snížení hmotnosti nadloží nutně došlo k odlehčení horninového masívu. V takovémto masívu jílovců s četnými mikrotrhlinami docházelo snáze k větrání, než je tomu v masívu zcela neporušeném. Hranice mezi navětralým a nenavětralým neogénem je na Ostravsku zcela běžná a na tomto profilu byla určena na základě seizmických měření.

2.2 Opakovaná odporová měření

Při sledování časových změn v horninovém masívu bylo použito i odporové profilování. Při terénních měřeních byly používány dva rozestupy symetrického uspořádání elektrod. Na obrázcích uváděných v tomto článku budou prezentovány výsledky měření hlubšího rozestupu (A20M5N20B), tj. rozestupu s odhadovaným reálným hloubkovým dosahem 10 – 15 metrů. Mělký rozestup měl uspořádání dané vzorcem A5M5N5B.

Na obrázku 3 je předvedeno přemísťování maxima odporových anomálií. Na levém grafu zdánlivých měrných odporů vidíme, že poloha maxima odporové anomálie se výrazně mění. Anomálie byla zjištěna na profilu P3 v metrů 85 až 105 metrů na patě svahové deformace a nelze tedy předpokládat, že fosilní sesuv, nebo i aktivní sesuv, by mohl působit takovéto změny. V patě svahové deformace není možné očekávat tahové namáhání, které způsobuje zvětšení zdánlivého měrného odporu. Odlišnost anomálních hodnot oproti okolí dosahuje cca 260 až 330 Ωm , čili je řádově větší než okolní odporové pole. Vzhledem k tomu, že tato anomálie je na hlubokém rozestupu výraznější než na rozestupu mělkém, musíme její vysvětlení hledat v dějích, které probíhají v hlubších částech horninového masívu. V první řadě musíme zkoumat možné vlivy změn vyvolané poddolováním a zjišťovat, jaké procesy mohou při vzniku poklesové kotliny vznikat.

V pravé části obrázku můžeme sledovat časový pohyb maxima odporové anomálie. Jako u mnoha jiných dějů, nejsou změny měrných odporů



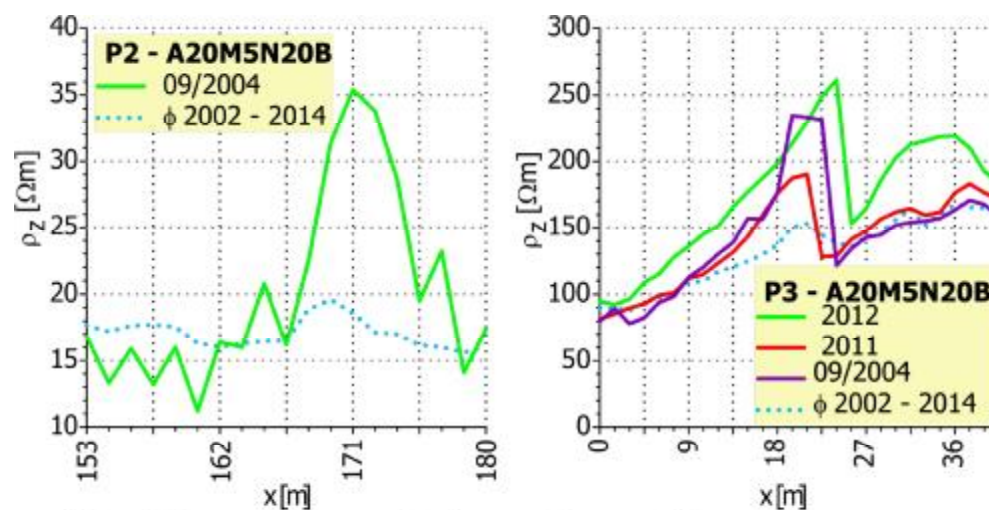
Obr. 3 Změna polohy odporového maxima

v poklesové kotlině monotónní. Časový průběh posunu maxima je nerovnoměrný a dochází ke zvrátům v pozici jeho polohy. Je však jednoznačné, že pohyb menší anomálie v místech odlučné oblasti sesuvu (zelená křivka) je výraznější, než změny polohy maxima měrných odporů v hlubší spodní části svahu (modrá křivka). Je samozřejmé, že změny v poloze tahové zóny sesuvu mohou být výraznější než změny v sevřené části údolí. Tomu odpovídá i absolutní hodnota změny polohy anomálie, která u tahové oblasti dosahuje devíti metrů, kdežto u propustné zóny je to šest metrů.

Dalším fenoménem, který jsme při opakovaných geoelektrických měřeních zjistili, je existence časově omezených anomálií na hlubokém rozestupu. Znovu připomínáme, že jde o děje uvnitř masívu, nikoli na jeho povrchu nebo v přípovrchové vrstvě. První takovouto anomálii jsme zjistili během měření v roce 2003. Protože nám scházelo jakékoli porovnání a anomálie svojí velikostí nebyla výrazná, nepřikládali jsme jí v té době žádný větší význam. Měření v následující etapě ukázalo, že tato anomálie neměla dlouhého trvání. Nadále však platilo, že se jednalo o ojedinělý případ, a proto stále platilo, že tato skutečnost byla mimo náš zájem. Až nalezení další obdobné anomálie na lokalitě Ujala I upoutalo naši větší pozornost.

Za dobu měření jsme zjistili existence pěti takovýchto anomálií, z nichž jedna byla dokumentována pouze v jedné etapě měření (obr. 4). Anomálie zdánlivého měrného odporu více než dvakrát převyšovala normální pole. Jde o anomálii, která leží ve dně místní vodoteče. Je tedy možné, že byla způsobena propláchnutím hrubších a hlubších nivních sedimentů po některém z místních přívalových dešťů. Tato preferovaná cesta podzemní vody byla zřejmě v následném normálním srážkovém režimu opět zakolmatována.

Zpočátku jsme těmto anomáliím nepřikládali velký význam. Hledání vysvětlení naráželo na skutečnost, že tyto anomálie se vyskytují jen na hlubokém rozestupu. V přípovrchových vrstvách jsme ani v jednom případě takovouto anomálii nenašli. Charakter řešeného úkolu nám bohužel neumožňoval provádět terénní měření v dostatečně krátkých intervalech, abychom byli schopni popsat vznik anomálie, její časový průběh a její zánik. Zprvu jsme se domnívali, že by anomálie mohly souviset s vytvářením tahových zón nových svahových deformací. Další anomálie jsme však zjistili daleko od míst možného vzniku sesuvů (obrázek 4 vpravo). Takovéto vysvětlení je tedy málo pravděpodobné. Musíme tedy hledat spojitost s jinými ději, které probíhají uvnitř horninového masívu. Jednou z možností jsou časově omezené odporové změny spojené se změnami režimu podzemní vody. Předpokládáme, že se v jednotlivých blocích horninového masívu vytváří různá, časově proměnná, hladina podzemní vody, případně, že se mění preferované cesty podzemní vody. Druhou možností je vliv tahových zón vzniklých v souvislosti s vytvářením poklesové kotliny.



Obr. 4 Časově omezené odporové anomálie

3 Závěr

V předkládaném článku chceme dokumentovat výsledky geoelektrického monitoringu, konkrétně výsledky opakovaných měření symetrickým odporovým profilováním. Opakovaná měření v katastru obcí Dětmarovic a Doubravy ukázala, že pole zdánlivých měrných odporů není v čase konstantní. Některé anomálie mění svojí polohu, a to až o devět metrů. Jiné anomálie jsou časově omezené a podařilo se nám je dokumentovat buď pouze v jednom, nebo některé i ve více časových momentech. Zatím se nám nepodařilo zcela přesně vysvětlit příčinu těchto jevů. Předpokládáme, že mohou být vyvolány buď změnami v režimu podzemní vody, nebo změnami, které vyvolávají dynamické jevy související s měnící se situací svahových deformací nebo s ději při vytváření a změnách v poklesové kotlině.

Literatura

- BLÁHA P., DURAS R., SKOPAL R. *Vliv poddolování na sesuvy – roční zpráva*, Geotest, Brno, 11/2003, MS.
- BLÁHA P. a kol. *Studie sesuvných území v MSK.*, Geotest, Brno, 8/2005, MS.
- BLÁHA P. a kol. *Vliv poddolování na sesuvy.*, Geotest, Brno, 11/2005, MS.
- BLÁHA P. a kol. *PVEP a jeho využití pro sledování svahových deformací.*, Geotest, Brno, 11/2006, MS.
- BLÁHA P. a kol. *VEP rozložení pole ve svahových deformacích.*, Geotest, Brno, 11/2006, MS.
- BLÁHA P. a kol. *Antropogenní změny z poddolování a svahové deformace.*, Geotest, Brno, 2/2009, MS.
- BLÁHA P. a kol. *Monitorování geofaktorů v oblasti svahových deformací Ujala, II*, Geotest, Brno, 11/2013, MS.
- BLÁHA P., DOLEŽALOVÁ H., DURAS R., MÜLLER. K. Resistivity changes of rock massif on the margin of subsidence depression., *Górnictwo i Geologia*, Zeszyt 4, č. 4, 2007, s. 5–12. ISSN 1896–3145.
- DOLEŽALOVÁ H., MÜLLER K., BLÁHA P. Analysis of Geodetic Surveying on the Margin of Subsidence Depression. (Analýza geodetického měření na okraji poklesové kotliny), In: *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 273*. Gliwice: Politechnika Śląska, 2006. PL ISSN 0372–9508, s. 103–112.
- JIRÁNKOVÁ, E. *Časoprostorové vytváření poklesové kotliny v závislosti na charakteru horského masivu*. Disertační práce doktorského studia, VŠB – TU Ostrava, 2006.
- KOŘÍNEK R., ALDORF J. *Geotechnický monitoring.*, VŠB, Ostrava, 1996.
- MÜLLEROVÁ J., MÜLLER K., HOFRICHTEROVÁ L., POLÁČEK A. Fyzikální projev poklesové kotliny v oblasti lázní Darkov. Sb. konf. *Inžinierska geológia, výskum a praks*. Bratislava, 1991, s. 111–114.
- NESET K. *Vlivy poddolování.*, 1. vydání, Praha, SNTL, 1984, 344 s, ISBN 04–406-84.
- NOVÁK, J. *Mezný úhel vlivu dobývání v poklesové kotlině*. Monografie, VŠB – TU Ostrava 2000. ISBN 80–7078-657–4.
- NOVOSAD L. *Výsledky měření přesné inklinometrie na lokalitě Dětmarovice – poddolování, 10. opakované měření ve vrtu D1, 3. opakované měření ve vrtu D2, dne 11. 4. 2012*, Geomonitoring, Praha, 2012, MS.
- PETROŠ V., MÜLLER K., KNEJZLÍK J. *Geomechanický a geofyzikální monitoring.*, VŠB, Ostrava, 2000.
- PIVOVARČIOVÁ J. *Sesuvné terény v OKR. Mapa sesuvných terénů OKR 1:25000, Průvodní zpráva k mapám prognózy sesuvné aktivity.*, GEOtest n. p., Ostrava, 1977, MS.
- ROHAND K., AL KALB A., HERBAUTS J. AND VERBRUGGE J. C. Changes in some mechanical properties of a loamy soil under the influence of mechanized forest exploitation in a beech forest of central Belgium. *Journal of Terramechanics*, Volume 40, Issue 4, October 2003, Pages 235–253 (published on Internet).

ROZSYPAL A. *Měření v inženýrské geologii.*, Universita Karlova, Karolinum, 1990.

SCHENK J. Předběžný výpočet vodorovných posunů a přetvoření., In: Sborník 9. *Důlně měřické konference Aktuální problémy měřictví a geologie*, Bystřice nad Perštejnem, 2002.

Autoři

¹ Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., Geotest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, blaha@geotest.cz

² Ing. Roman Duras, Geotest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, duras@geotest.cz